



Intensidad de texturas vs espesores en Aleaciones de Zinc-Níquel + Micropartículas de Alúmina.

Caracterización del material (Dureza, Contenido de Níquel %, XRD, AFM, SEM, FRX, EIS)

Mahmud, Z. A.; Amelotti, F.; Lloret, P.; Gagliardi, J.; Tulio, P. C.;
Míngolo, N.; Gassa, L.; Gordillo, G.
2016-07

Technical Report

Reporte Técnico
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires

<http://digital.bl.fcen.uba.ar/gsdl-282/cgi-bin/library.cgi?p=about&c=technicalreport>

Contacto: digital@bl.fcen.uba.ar

Este documento forma parte de la colección de Reportes Técnicos de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the Technical Reports collection of Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad de Buenos Aires. It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

Fuente / source:

Biblioteca Digital de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad de Buenos Aires
<http://digital.bl.fcen.uba.ar>

Intensidad de texturas vs espesores en Aleaciones de Zinc-Níquel + Micropartículas de Alúmina. Caracterización del material (Dureza, Contenido de Níquel %, XRD, AFM, SEM, FRX, EIS).

Effects of ceramic particles additions to the electrodeposition solution on the properties of Zinc-Nickel alloy coatings.

Z. A. Mahmud⁽¹⁾, F. Amelotti⁽¹⁾, P. Lloret⁽¹⁾, J. Gagliardi⁽¹⁾, P. C. Tulio⁽²⁾, N. Míngolo⁽³⁾,
L. Gassa⁽⁴⁾, G. Gordillo⁽⁵⁾.
e mail: zulema@inti.gob.ar

¹ INTI, Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Av. Gral Paz 5445. Buenos Aires. Argentina

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Câmpus Cornélio Procópio - Paraná - Brasil.

³ CNEA. Av. Gral Paz 5445. Buenos Aires. Argentina.

⁴ INIFTA – Instituto Nacional de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas. 1900 – La Plata – Argentina.

⁵ FCEN - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Ciudad Universitaria. Pabellón 2. Buenos Aires. Argentina

ABSTRACT

Summary: the metallic coating of zinc alloyed with other metals such as nickel, has very good corrosion resistance. It was found that the type and quantity of particles, increases the hardness and the nickel content in the alloy at all current densities. Photomicrographs were made in electronic and optical microscope (in samples with particle, cross sectional views). We have found that there is an optimum thickness of 10 microns in which the intensity of texture in the material is increased. In this thickness in ZnNi - Al₂O₃, the Charge Transference Resistance, RTC in ohm, measured by Impedance was $RTC_{ZnNi + Al_2O_3} > RTC_{ZnNi}$ and in the Polarization Curves the corrosion current density is decreased. In salt spray tests on samples with the same thickness, it was found that the area with white rust is lower for Zn Ni with Al₂O₃ on the affected area that in other cases.

Keywords: Zn Ni alloys, electro deposition, ceramic particles, structural characterization, corrosion resistance, microhardness.

1- INTRODUCCIÓN

Los recubrimientos compuestos de matriz metálica más partículas cerámicas de alta dureza se obtienen por electrodeposición a partir de soluciones que contienen además los iones y aditivos. Las partículas son micro o nanométricas y están dispersas en la solución [1], luego, a medida que el recubrimiento en la matriz crece, las partículas se incorporan a la misma, formando el material electrocompuesto. En las matrices metálicas binarias se observa que las partículas cerámicas provenientes de la solución afectan la composición de ésta [2-5]. La razón de esto todavía no está clara en la literatura, pero se comprueba porque se modifica la resistencia a la corrosión que es afectada. Con relación a las propiedades de los aleaciones, se combinan las propiedades de ductilidad y de resistencia a la corrosión de la matriz metálica con la dureza de las partículas cerámicas dispersas [1,3,6-7]. Los depósitos de ZnNi son empleados en la industria automotriz, de la construcción y de los electrodomésticos. La adición de partículas micrométricas de SiC y de Al₂O₃ a la matriz de ZnNi aumenta la dureza del recubrimiento, y afecta la resistencia a la corrosión [3,5-7].

Según René Winand, el contenido de Níquel es de aproximadamente 13 % de Ni, y la resistencia a la corrosión de los recubrimientos de ZnNi cuadruplican comparativamente con la protección del Zn puro [6-8].

En éste trabajo son presentados los resultados de resistencia a la corrosión de eletro-compuestos de ZnNi-Al₂O₃ “espesores vs texturas” y también se evalúan los efectos de la adición de Al₂O₃ en la estructura de fases y en la composición de la matriz de ZnNi. Se demuestra que con alumina en el ZnNi, se produce un “aumento de dureza (muy bueno para aplicaciones donde se requiera mayor desgaste). También se mide un aumento del contenido de Ni”, en presencia de micropartículas. Estos últimos efectos son utilizados para explicar las mayores resistencias a la corrosión observadas para la aleación “material compuesto, matriz metálica más partículas y aditivos”[9-11].

2- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La solución de eletrodeposición es una solución ácida, concentrada en las sales de NiSO₄ y de ZnSO₄ de 1M de cada una. Las partículas de Al₂O₃ (tienen un diámetro promedio entre 3 y 4 µm) se adicionan a la solución en diferentes concentraciones de solución. Se utiliza una celda eletrolítica y se usa en un intervalo amplio de densidades de corriente aplicadas por 30 minutos a T ambiente. El electrodo de trabajo (ET) es una chapa de acero 1010 de 50 cm² el contra-electrodo (CE) Ni con un área igual. Para las curvas voltamétricas se emplea un electrodo de disco de acero de bajo carbono incluido en resina epoxi con una área circular expuesta de 0,38 cm², el contraelectrodo de Pt y el eletrodo de referencia de calomel normal. Durante la eletrólisis se agita la solución con un dispositivo sujeto a una barra que mueve el líquido a lo largo del cátodo que a una distancia de 1 cm. Luego de la electrólisis, se investigan las morfologías de los recubrimientos en la superficie por SEM, con un microscopio electrónico de barrido Philips 505, además del análisis químico seniquantitativo de Al₂O₃ con microsonda EDX en un área de 20 µm². Los porcentajes de Ni en el recubrimiento se obtienen por fluorescencia de rayos X en un equipo Fischerscope, modelo XVUM. El análisis de la estructura de fases de los distintos depósitos se realiza por DRX en un equipo Philips X'Pert con radiación de Cu-Kα (λ=1,5406 Å). Los depósitos analizados se eligieron en muestras eletrodepositadas a corriente constante por unidad de área de modo de conseguir las densidades de corriente elegidas en tiempos de deposición crecientes, desde 5 hasta 30 minutos. Las medidas de microdureza se realizaron en secciones transversales de los depósitos utilizando un microdurómetro Leitz Miniload 2. La microestructura de los recubrimientos se analiza con un Microscopio de Fuerza Atómica en un área de 30 x 30 µm².

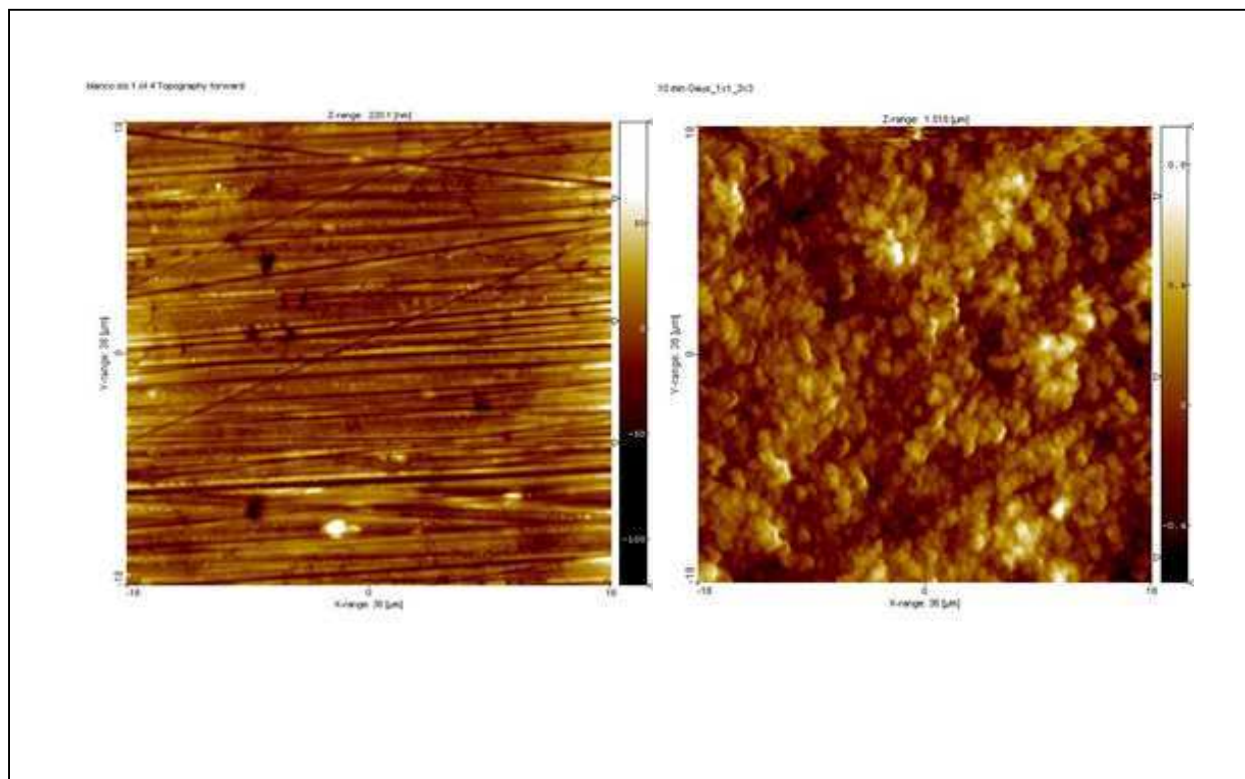
Para la evaluación de la resistencia a la corrosión, se realizan los depósitos de los distintos materiales con electrodos paralelos entre si, separados 5 cm, usando densidades de corriente crecientes en Adm⁻² durante un tiempo hasta llegar a un espesor de 30 µm. Para evaluar corrosión se utiliza una celda convencional que tiene 100 ml de capacidad. El eletrodo de trabajo tiene un área de 1 cm² de área, y el contra-eletrodo de acero inoxidable tiene una gran área, el electrodo de referencia de calomel saturado. La solución empleada para los estudios es una solución de buffer bórico-borato pH 9. Las Curvas de Polarización se obtienen barriendo desde 150 mV más catódicos que el E_{ca} hasta 150 mV más anódicos a 1mV/s, usando la misma solución que para las mediciones de impedancia. Se realizan las impedancias potenciostatizando a los potenciales de circuito abierto (E_{ca}) de modo que el sistema se mantenga lineal, estacionario e invariante. Se hace aplicando un barrido en

frecuencias en el intervalo de 0,1 Hz a 100 KHz utilizando una onda senoidal superpuesta de 5mV de amplitud. Finalmente se analiza el Diagrama de Impedancia obtenido.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

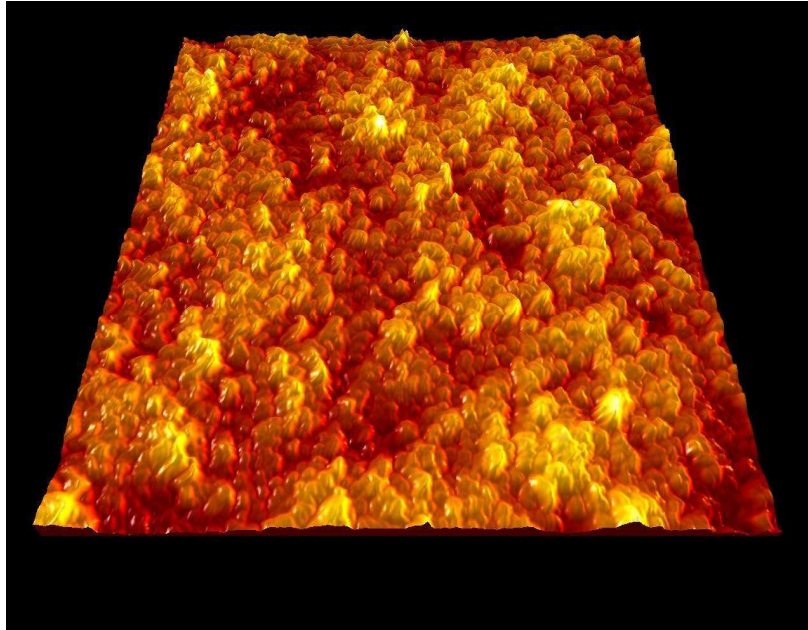
3.1 Estudios em Microscopio de Fuerza Atómica

En la Figura 1 se muestran las imágenes de Microscopia de Fuerza Atómica de la superficie en el sustrato de acero y en el recubrimiento (depósito de ZnNi). Las partículas de Al_2O_3 se adicionan al inicio de las experiencias a la solución de electrodeposición, obteniéndose aleaciones de $\text{ZnNi-Al}_2\text{O}_3$ en una celda electroquímica de electrodos enfrentados como la descrita en el ítem anterior. En la fotomicrografía por SEM de la Figura 2 se constata la obtención de los depósitos de $\text{ZnNi-Al}_2\text{O}_3$. Se observa una partícula de Al_2O_3 ocluída en la matriz y el respectivo espectro por Espectrometría EDX. En la Figura 3, se presenta la fotografía del recubrimiento, sección transversal por Microscopía Óptica y la distribución de las partículas de Al_2O_3 en el interior de la matriz de ZnNi. Los análisis composicionales de los distintos depósitos fueron obtenidos en todo el intervalo de densidades de corriente catódicas empleando distintas concentraciones de partículas de alumina en la solución (20g/l ó 60 g/l), corresponden a un mayor contenido de Ni (%) a cada densidad de corriente y en todas las densidades de corriente, en el recubrimiento de $\text{ZnNi-Al}_2\text{O}_3$ (Figura 4). De este resultado, se puede afirmar que la presencia de partículas de Al_2O_3 en la solución de electrodeposición afecta la cinética de reducción de los cationes Zn^{2+} y Ni^{2+} . Las observaciones voltamétricas están de acuerdo, con el análisis composicional. Los mecanismos de acción de las partículas cerámicas sobre la composición de la matriz de ZnNi se aclaran con experimentos adicionales de adsorción [11]. A continuación, se presentan los recubrimientos de ZnNi vistos en la cara expuesta con AFM. Se prepararon muestras con un espesor de 20 micrones usando una corriente por unidad de área de 8Adm^{-2} por 20 minutos y luego una vez acabada la electrodeposición, las muestras se trataron como se indicó en el procedimiento experimental. En la tabla 1, se muestran los resultados obtenidos en muestras expuestas en la cámara de niebla salina.

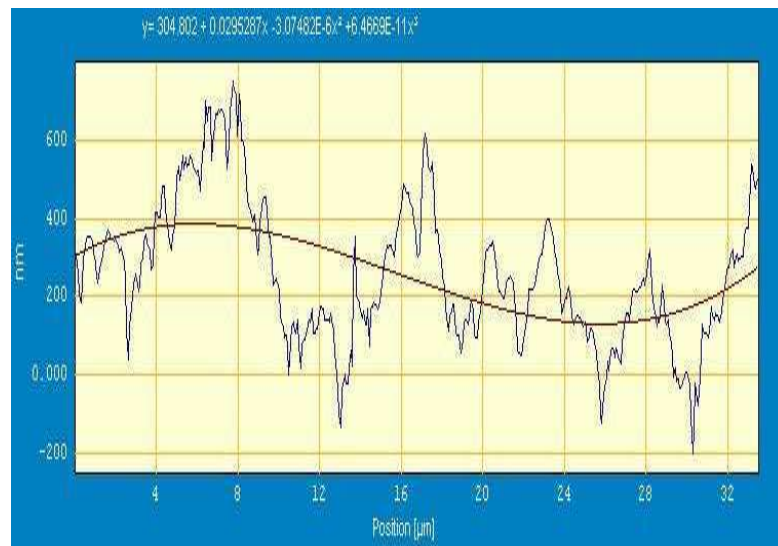


(a)

(b)



(c)



(d)

Figura 1: (a) Morfología del sustrato de acero y (b) (c) recubrimiento de ZnNi, por Microscopía de Fuerza Atómica en una escala de 30 μm x 30 μm (largo x ancho) (d) perfil del recubrimiento por (AFM).

3.2 Estudios en Microscopio Electrónico de Barrido, SEM.

Se observa una partícula de Al_2O_3 ocluída en la matriz y el respectivo espectro por Espectrometría EDX.

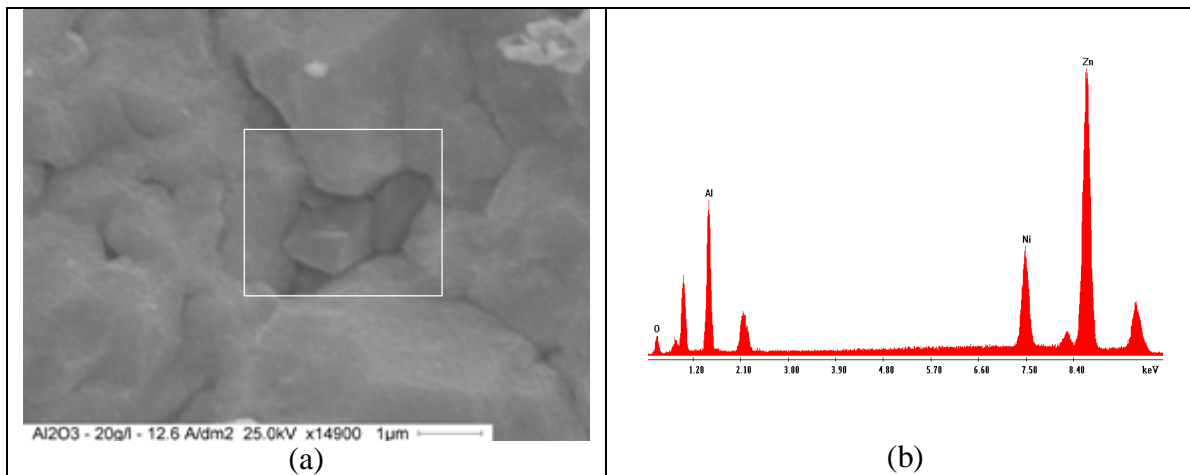


Figura 2: Zn-Ni con partículas incorporadas de Al_2O_3 . (a) Fotomicrografía obtenida por SEN, (b) análisis con microsonda EDX en los cristales de Al_2O_3 ocluídos en la matriz de Zn-Ni. Zona analizada $20\text{ }\mu\text{m}^2$.

3.3 Estudios en Microscopio Óptico de muestras vistas en corte

En la Figura 3, se presenta la fotografía del recubrimiento, sección transversal por Microscopía Óptica.



Figura 3: Sección transversal del recubrimiento de ZnNi con partículas de Al_2O_3 .

3.4 Composición del recubrimiento en función de la densidad de corriente y de la concentración de alúmina en solución.

En la figura se gráfica el contenido de Ni (%) a cada densidad de corriente y en todas las densidades de corriente, en el recubrimiento de ZnNi- Al_2O_3 (Figura 4). Se puede constatar que a medida que aumenta la concentración de micropartículas en solución aumenta el contenido de Ni % en la aleación en todas las densidades de corriente y a cada j.

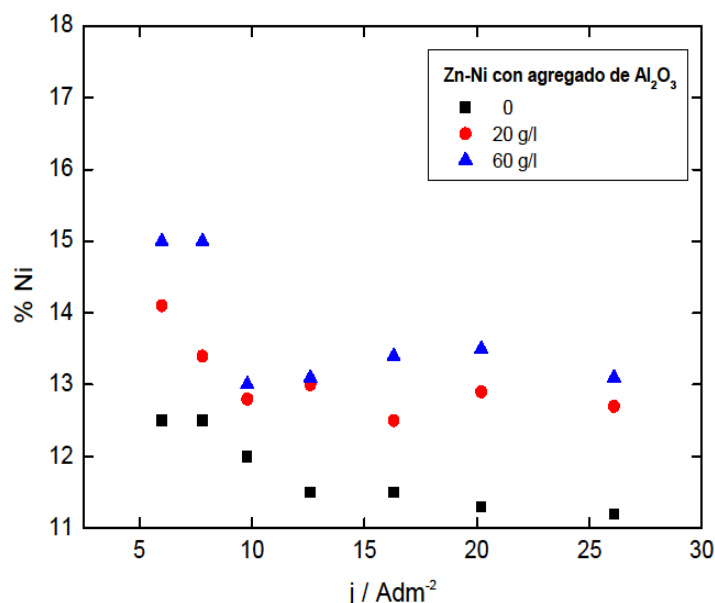


Figura 4: Variación del porcentaje de Ni en la matriz de ZnNi en función de la densidad de corriente de deposición (j) cantidad de partículas de Al_2O_3 en la solución de electrodeposición se indican en la figura.

3.5 Contenido de alúmina en el recubrimiento de Zn Ni

El contenido de alúmina se midió en muestras preparadas en corte.

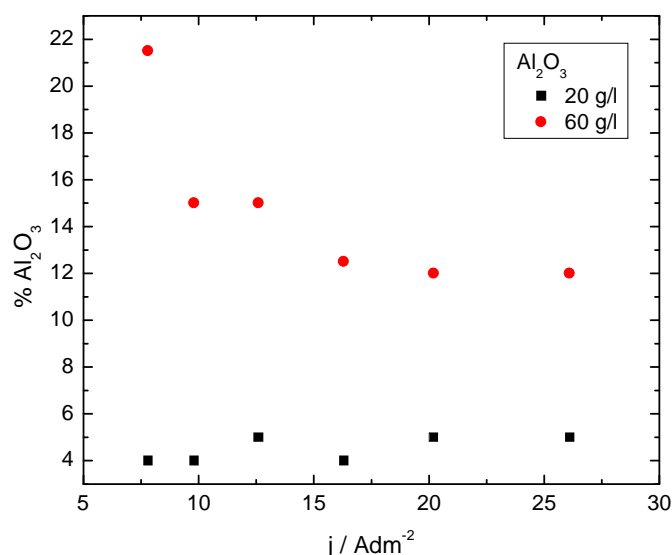


Figura 5. Contenido de alúmina en el Zn Ni vs densidad de corriente aplicada y concentración de alúmina en el baño. La zona analizada en la Microsonda EDX fue de 6 mm^2 .

La concentración de alúmina en el recubrimiento depende de la concentración de partículas en solución y se mantiene constante y uniforme, para cada concentración, en un rango amplio de densidades de corriente.

3.6 Microdureza en función de la densidad de corriente y de la concentración de alúmina en solución.

En la figura 5, se presentan los resultados de Dureza o Microdureza en Vickers, Hv, medida a cada densidad de corriente, j . Se observa que a cada densidad de corriente, cuando aumentan las concentraciones de partículas de alúmina en la solución aumentan las durezas de los recubrimientos a cada densidad de corriente y en todas las densidades de corriente.

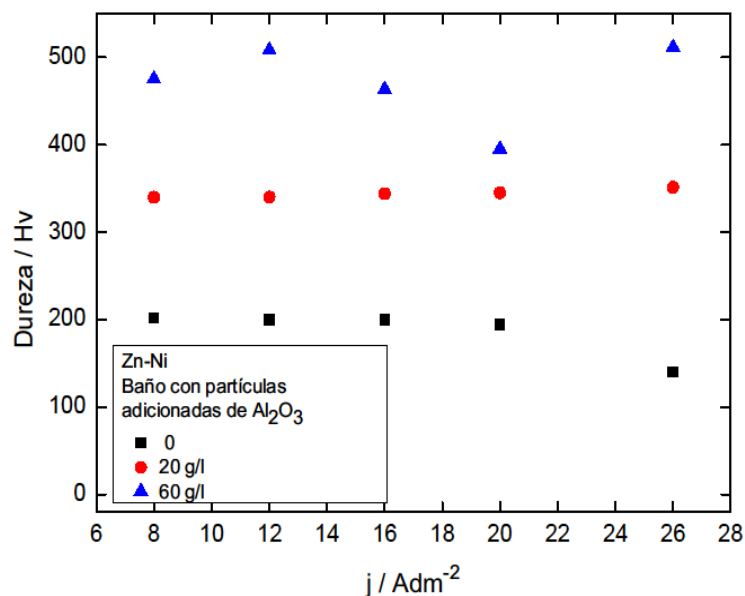


Figura 6: Variación de la dureza de los recubrimientos de ZnNi y de ZnNi-Al₂O₃ con espesores de 30 micrones.

La microdureza del recubrimiento de las aleaciones de ZnNi-Al₂O₃ aumenta a 350Hv (ZnNi + 20g/l de alúmina) respecto del caso de los depósitos de ZnNi sólo cuya dureza es de 200 Hv. Es decir, la dureza depende de la concentración de Al₂O₃, como se verifica en la Figura 5.

3.7 Desarrollo estructural de los recubrimientos en función de los espesores. Estudios de Difracción de rayos X.

Los Diagramas de difracción de rayos X se obtienen para los diferentes depósitos y se presentan en la Figura 6. Para depósitos de ZnNi se observa la presencia de fases mayoritarias de estructura cúbica. También están presentes, en menores proporciones, las fases de Zn de estructura hexagonal. En los depósitos de ZnNi y los de ZnNi-Al₂O₃ aparecen variaciones en la estructura de fases de la matriz de ZnNi. En éstas matrices se desarrolla una textura (mayor orientación preferencial en una dada dirección) (330) de la fase γ , aumentando su proporción en el tiempo de deposición. Al mismo tiempo, se detecta un aumento de las tensiones residuales compresivas en la matriz de ZnNi dada por las variaciones de parámetros de red en la fase. Los recubrimientos compuestos de ZnNi-Al₂O₃ desarrollan una fuerte textura asociada a las orientaciones (110) de la fase η , presentando un máximo a tiempos de deposición de 10 minutos para $j=8 \text{ Adm}^{-2}$ (espesor de 10 micrones). La presencia de las tensiones compresivas y de un mayor contenido de Ni en la matriz contribuyen, a una mayor resistencia a la corrosión del material de ZnNi-Al₂O₃ comparado con el ZnNi solo obtenido en las mismas condiciones. Con 10 micrones de espesor, se refuerzan las texturas con micropartículas de alumina y el recubrimiento protege más.

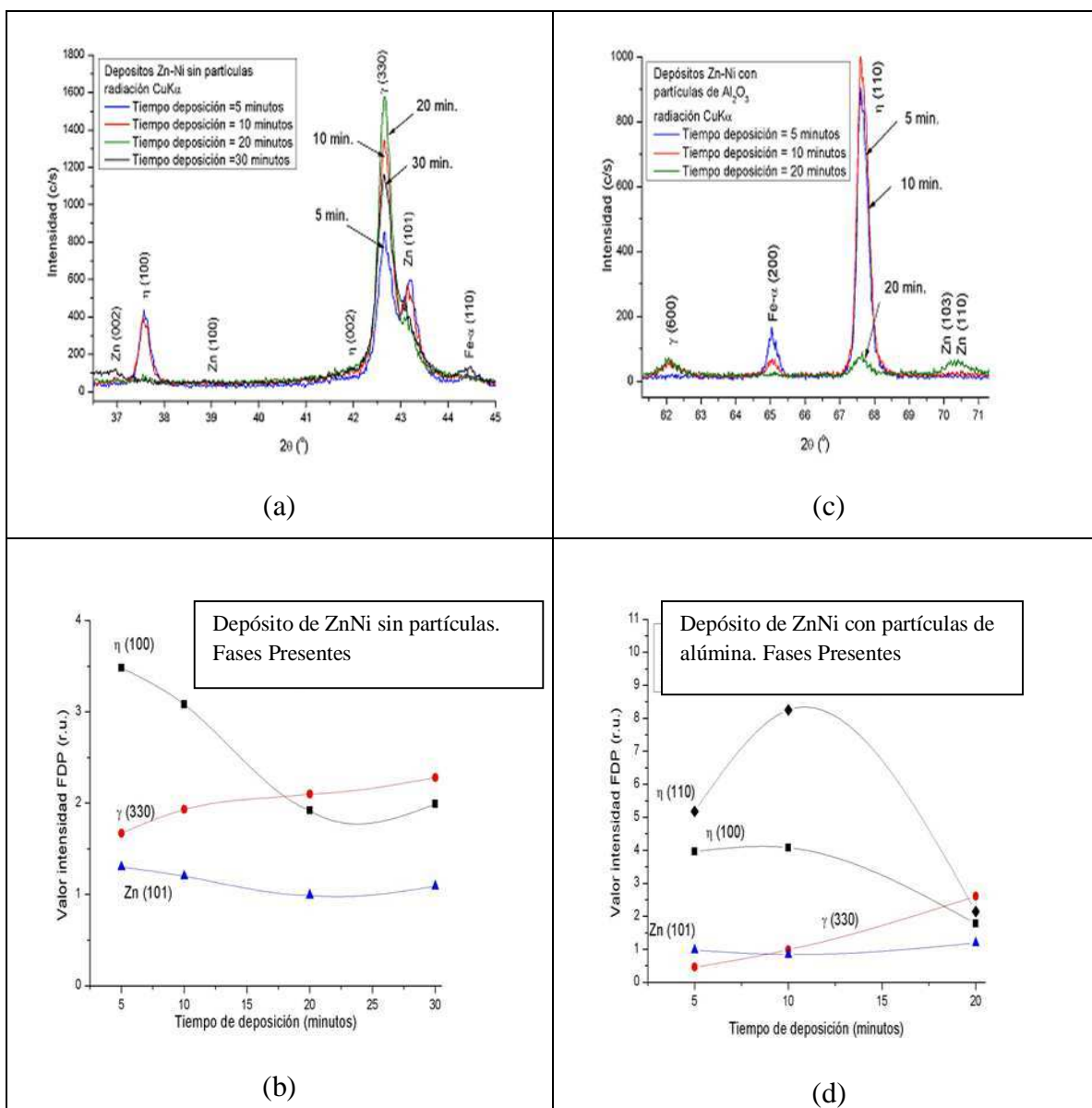


Figura 7: Datos de Difracción de rayos X, DRX para depósitos de ZnNi obtenidos a diferentes tiempos de electrodeposición: (a) y (b) ZnNi sin partículas, Figura de polos en las figuras (c) y (d) en que aparece ZnNi + Al_2O_3 . Espesor / tiempo (min) a $8\text{Adm}^{-2} = 1\mu\text{m}/\text{min}$.

Con relación a la resistencia a la corrosión, en recubrimientos con el espesor óptimo (10 micrones) las curvas de Polarización que no se presentan aquí, solo los resultados en la Tabla 1, que confirman una mayor resistencia a la corrosión de los materiales presentando menores densidades de corriente de corrosión (j_{corr}) para los recubrimientos de ZnNi- Al_2O_3 comparados con los de ZnNi (ver Tabla 1).

Se obtienen las mediciones de impedancia para los depósitos, se presentan los diagramas de Nyquist (Figura 7 y Tabla 1) que muestran las mayores resistencias de Transferencia de Carga, RTC, para las aleaciones compuestas de ZnNi- Al_2O_3 y son menores para el ZnNi sólo. Estos resultados pueden ser correlacionados con un mayor porcentaje de Ni en la

matriz de ZnNi y también las tensiones compresivas en la matriz, conforme se evidencia en los análisis de DRX.

Los valores máximos de intensidad de texturas que surgen del gráfico (d) figura de polos, se obtienen en espesores de recubrimiento en tiempos de deposición de 10 minutos, en el cual a una densidad de corriente j de 8Adm^{-2} , se obtiene un espesor de 10 micrones. En éste espesor en que la fase predominante es la η (1, 1,0), son mayores las RTC y menores las corrientes de corrosión.

3.8 Estudios de Impedancia en muestras de 5,10 y 20 micrones:

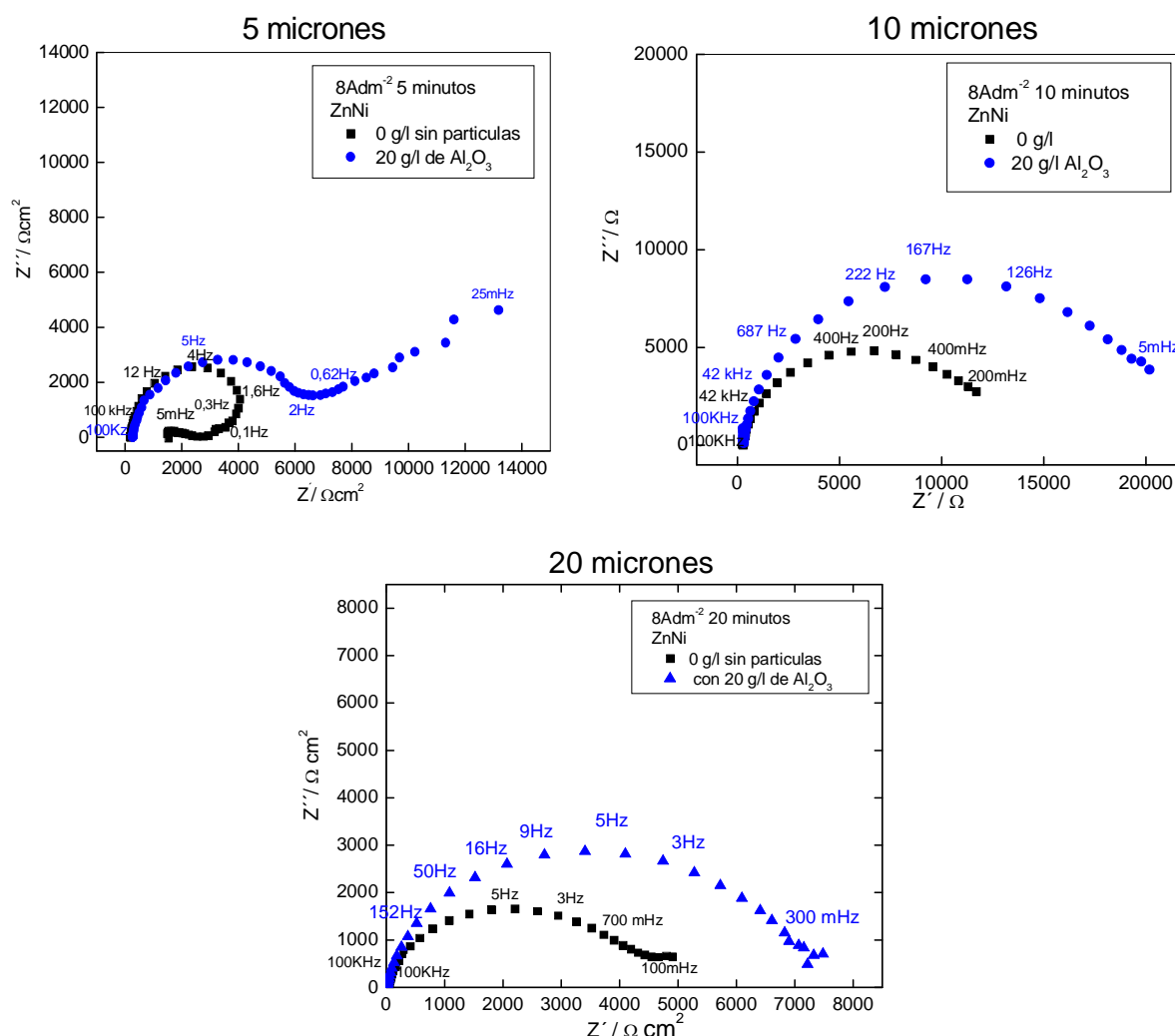


Figura 8: Diagramas de Nyquist para los diferentes depósitos indicados en la figura. Barrido de frecuencias entre 100 KHz y 5mHz. Solución buffer: bórico-borato pH 9.

Los diámetros mayores indican mayores resistencias de polarización en ohm del material. Mayores aún en los casos del ZnNi con alúmina. Sólo se observa una recta a 45° que indica un proceso difusional a bajas frecuencias en el caso de 5 micrones. El proceso difusional desaparece en presencia de alúmina en espesores de 10 y 20 micrones.

La tabla 1, muestra el resumen de los resultados de las Fases Presentes en la aleación, de la Impedancia y de las Curvas de Polarización. Las fases presentes, los valores de RTC obtenidos de las impedancias y los valores de las densidades de corriente de corrosión, j , permiten caracterizar el material. Con 10 micrones de espesor, se refuerzan las texturas con micropartículas de alumina cambia la fase de γ a η y el recubrimiento protege más (RTC aumenta y j disminuye).

Tabla 1. Impedancia: valores de resistencia de Transferencia de Carga (RTC) y Curvas de Polarización: densidad de corriente de corrosión (j_{corr}) para depósitos de ZnNi y de ZnNi- Al_2O_3 .

8Adm ⁻² durante 10 minutos de electrodeposición	Fases Presentes – texturas Figura 6		Impedancia: Valores de $R_{\text{TC}} / \Omega \text{ cm}^{-2}$ Figura 7		Curvas de polarización: Corrientes de Corrosión $j_{\text{corr}} / \mu\text{A cm}^{-2}$	
	ZnNi γ	ZnNi- Al_2O_3 η	ZnNi	ZnNi- Al_2O_3	ZnNi	ZnNi- Al_2O_3
5 min = 5 μm	3,3,0	1,1,0	4000	7000	2,7	1,8
10 min = 10 μm	3,3,0	1,1,0	13000	21000	2	1,5
20 min = 20 μm	3,3,0	1,1,0	5200	7500	4	1,8
30 min = 30 μm	3,3,0	1,1,0	-	-	0,7	-

3.9 Tiempo hasta la corrosión blanca en la Cámara de Niebla salina para recubrimientos sin y con partículas

Se prepararon muestras con un espesor de 20 micrones usando una corriente por unidad de área de 8Adm⁻² por 20 minutos y luego una vez acabada la electrodeposición, las muestras se trataron como se indicó en el procedimiento experimental. En la tabla 1, se observan los resultados obtenidos en muestras expuestas en la cámara de niebla salina.

Tabla 2 – Niebla salina a 36°C. Porcentaje del área total de la muestra afectada hasta la corrosión blanca.

Recubrimiento	Porcentaje de la superficie atacada por corrosión blanca en el tiempo (ZnO)		
	24	48	120
Tiempo en la Cámara en horas hasta la corrosión blanca			
ZnNi sólo	5	10	70
ZnNi-Al ₂ O ₃ (solución con micropartículas de alúmina 20g/l)	2	4	10
Las muestras se prepararon de ZnNi con un espesor de 20 micrones y se ensayaron por duplicado en niebla salina de acuerdo a los lineamientos de la norma ASTM B 117.			

Se observa que el área afectada es menor en el caso del recubrimiento con alúmina. Asimismo, se encontró que la resistencia del material es mayor para el caso de la adición de partículas de alúmina para la figura 5 y en ésta tabla, para muestras de igual espesor.

CONCLUSIONES

- El depósito es parejo y la microestructura cambia notablemente con el agregado de mayores concentraciones de alúmina
- La concentración de alúmina en el recubrimiento depende de la concentración de partículas en solución y se mantiene constante y uniforme para cada concentración de partículas en solución, en un rango amplio de densidades de corriente.
- Se observa además que las partículas se incorporan al recubrimiento.
- La microestructura es nodular a altas densidades de corriente, y el análisis de varios granos mostró un espectro similar, donde aparecen Zn Ni y Al correspondiente a la alúmina.
- El porcentaje de níquel y la dureza en la aleación aumenta con el agregado de partículas de alúmina en el baño (solución de electrodeposición). Por lo tanto, al ser mayor el % de Ni en la aleación, mayor será la resistencia a la corrosión de Zn-Ni en presencia de partículas.
- La textura de la fase γ (3,3,0) del recubrimiento de Zn Ni que aparece sin y con partículas de alúmina se modifica con el tiempo de deposición. Se observa además un aumento importante de la fase η (110) en un tiempo de deposición de 10 minutos (para muestras preparadas a 8Adm^{-2} de 10 micrones de espesor) con la fase η de orientación (110) que se mantiene igual a medida que aumenta el tiempo de deposición. Éstos resultados en los que aparece la fase η (110) en la presencia de alúmina, presentan fuerzas compresivas. Esto, es bueno para el recubrimiento, en caso de tener grietas. Los resultados en espesores de 10 micrones estarían relacionados con una diferencia de resistencia contra la corrosión entre las muestras con adición de partículas y las muestras con Zn Ni sólo.

Las partículas micrométricas de Al_2O_3 en la solución de electrodeposición incrementan el contenido de Ni en el material de aleación de ZnNi y de la aleación compuesta por partículas de ZnNi- Al_2O_3 .

La cinética de reducción de Zn^{2+} y de Ni^{2+} es afectada por las partículas y la agitación. La microdureza de los recubrimientos de ZnNi- Al_2O_3 se incrementa en aproximadamente un 70 % comparada con los recubrimientos de ZnNi.

En los recubrimientos, en la matriz de ZnNi, la estructura de fases se afecta. El desarrollo estructural de textura, y la estructura de fases depende de la densidad de corriente de electrólisis y del tiempo de deposición. Además, en el caso del ZnNi más micropartículas de alumina, aparecen, como ya se dijo, tensiones compresivas.

Los recubrimientos compuestos de ZnNi- Al_2O_3 son más resistentes a la corrosión en medio de bórico borato a pH 9,2 conforme a las evidencias encontradas en los estudios de impedancia. El mayor porcentaje de Ni en la matriz de ZnNi y las tensiones compresivas hacen que los materiales sean más resistentes a la corrosión, además de ser muy recomendables para aplicaciones en que se necesite resistencia al desgaste (debido a las altas durezas obtenidas). Con micropartículas de alumina disminuye notablemente el área afectada en el tiempo (tabla 2).

AGRADECIMIENTOS:

Al INTI por financiar las investigaciones.

REFERENCIAS

- [1] M. Musiani. *Electrochim. Acta*, 45 (2000) 3397-3402.
 - [2] H. Park and J. A. Szpunar. *Textures and Microstructures*, 34 (2000) 119-146.
 - [3] Z. A. Mahmud, P. Tulio, P. Areas, N. Míngolo. Caracterización estructural del recubrimiento de aleación de Zn-Ni con partículas de CSi o de Al_2O_3 obtenidos por electrodeposición. Rosario, Argentina. 11° Congreso Binacional de Metalurgia y Materiales. SAM / CONAMET 2011.
 - [4] Z. A. Mahmud, N. Míngolo, G. Gordillo. Texturas en cincados y su efecto sobre la corrosión". "Avances en Ciencias e Ingeniería de Chile" Volumen 1 número 3 (Julio-Septiembre) de 2010. ISSN: 0718-8706.
 - [5] P. C. Tulio, S. E. B. Rodrigues, I. A. Carlos. *Surf. Coat. Technol.* 202 (2007) 91-99.
 - [6] Z. Mahmud. J. Gagliardi. J. Pina. G. Gordillo. P. Tulio. N. Míngolo. L. Gassa. Primer premio en la sesión Innovación Tecnológica: Primavera 2010, al trabajo "Recubrimiento constituido por la aleación de Zn-Ni más partículas de carburo de silicio o de alúmina". ISBN 0-521-43-. 43108-5.
 - [7] Ibid, 2011.
 - [8] Efecto de los aditivos en el desempeño de los recubrimientos de Zinc Níquel. Zulema Ángela Mahmud. Irene Alanis. *Revista SAM de CNEA. Asociación Argentina de Materiales.* Registro ISSN 1668-4788 Julio de 2009. Volumen 6 N° 1. http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/revista/2_2009/contenido.htm
 - [9] Z. Mahmud. "Texturas en cincados y su efecto sobre la corrosión". "Avances en Ciencias e Ingeniería de Chile" Volumen 1 número 3 (Julio-Septiembre) de 2010. ISSN: 0718-8706.
- http://www.exeedu.com/publishing.cl/av_cienc_ing/2010/Vol1/Nro3/2-ACI1013-10-full.pdf.

[10] Zulema Mahmud et al. Zinc + Nickel + Microparticles Coatings: Production Process and Structural Characterization. Procedia Materials Science. Vol 9. 377-386. 2015.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211812815001911>

[doi:10.1016/j.mspro.2015.05.007](https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.05.007)

AUDIO DE EXPLICACIÓN DEL TRABAJO:

<http://audioslides.elsevier.com/ViewerSmall.aspx?doi=10.1016/j.mspro.2015.05.007&Source=0&resumeTime=0&resumeSlideIndex=3&width=800&height=639>

[11] Z. Mahmud. “Material compuesto de aleación de zinc níquel, con muy buenas propiedades de protección y mecánicas, alternativo al cincado: cambio de escala, estudio de las variables del proceso y su efecto en las características del material”. 1a ed. - San Martín Instituto Nacional de Tecnología Industrial - INTI, 2016. Libro digital, pdf. Archivo Digital: descarga y online. ISBN 978-950-532-267-1

http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Libros/Libro_0016_Mahmud.pdf

[12] TESIS: Z.A. MAHMUD. Influencia de los aditivos utilizados en el cincado en medio ácido. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_4634_Mahmud.pdf

[DOI: 10.13140/RG.2.1.3850.0722](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3850.0722)